

УДК 629.039.58

UDC 629.039.58

АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ  
БЕТОННЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ  
УСЛОВИЯХASPECTS OF RELIABILITY  
AND SAFETY ASSURANCE  
OF CONCRETE WORKS IN WINTER  
CONDITIONS*В. А. Дмитриенко, И. Н. Кокунько,  
Э. А. Дюба, А. К. Евсенкова**V. A. Dmitrienko, I. N. Kokunko,  
E. A. Dyuba, A. K. Evsenkova*

Институт сферы обслуживания и предприниматель-  
ства (филиал) Донского государственного техническо-  
го университета г. Шахты, Россия

The Institute of service sector and entrepreneurship  
(branch) Don State Technical University  
Shakhty, Russia

[vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)  
[kokynek@rambler.ru](mailto:kokynek@rambler.ru)  
[keda4kaaa@mail.ru](mailto:keda4kaaa@mail.ru)  
[nasta\\_e\\_97@mail.ru](mailto:nasta_e_97@mail.ru)

[vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)  
[kokynek@rambler.ru](mailto:kokynek@rambler.ru)  
[keda4kaaa@mail.ru](mailto:keda4kaaa@mail.ru)  
[nasta\\_e\\_97@mail.ru](mailto:nasta_e_97@mail.ru)

Проанализировано современное состояние вопроса обеспечения требуемой скорости набора прочности бетоном в зимних условиях и возможности применения раннего нагружения монолитных конструкций при обеспечении надежности и безопасности ведения работ. На основе анализа опыта применения различных методов поддержания температурного режима бетонирования, изучен процесс набора прочности бетоном при температурах, отличных от нормальных. Проведен многофакторный регрессионный анализ и построены регрессионные модели зависимости прочности модифицированного бетона на сжатие от времени и температуры твердения. Приведены уравнения множественной регрессии.

The article analyses the topical question about the desired speed of concrete strength development assurance in winter conditions and the possibility of monolithic structures early loading in reliability and safety assurance. Having analyzed the experience of various methods of concrete temperature maintaining the authors studied the process of concrete strength development at temperatures different from normal. The multivariate regression analysis and regression models were built based on the dependence of modified concrete compression strength on time and temperature of hardening. The article provides the equations of multiple regression.

**Ключевые слова:** надежность конструкций, бетон, раннее нагружение, набор прочности в зимних условиях, регрессия, прогнозирование.

**Keywords:** reliability of structures, concrete, early loading, concrete strength development in winter conditions, regression, forecasting.

**Введение.** Строительная отрасль, несмотря на кризисные явления, сохраняет тенденции к росту как в России, так и за рубежом. Строительные технологии постоянно совершенствуются, разрабатываются новые материалы, внедряются автоматизированные системы

**Introduction.** The construction industry, despite the crisis, continues the growing trend both in Russia and abroad. Construction technology is constantly improving, developing new materials introducing the automated design systems and operational practices.

проектирования и методы организации работ, однако проблем в этой области остается по-прежнему множество.

Строительные объекты, как правило, предназначены для длительного пребывания в них людей, а сроки их службы исчисляются десятилетиями, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по долговечности, надежности и безопасности [1]. Большое число выполняемых процессов и применяемых технологий, широкая номенклатура используемых материалов, изделий и конструкций обуславливают высокие квалификационные требования к работникам. С точки зрения безопасности труда строительная отрасль остается одной из наиболее травмоопасных, то есть вопросы надежности и безопасности зданий и сооружений не утрачивают и в настоящее время своей актуальности.

**Общие положения раннего нагружения бетонных конструкций.** Индивидуальность объектов и стремление проектных и строительных организаций снизить стоимость строительства обусловили увеличение доли конструкций, возводимых из монолитного бетона. Короткие сроки строительства, диктуемые заказчиками, требуют высокой интенсификации производства и неукоснительного выполнения графиков организации работ.

Рост объемов возведения конструкций из монолитного бетона и железобетона, несмотря на преимущества технологии и многочисленные исследования в этой области, ставят перед строительной отраслью целый ряд проблем. Совершенствование технологических процессов и высокий уровень механизации позволяют интенсифицировать строительные работы и сократить сроки строительства. Однако в этом случае период нагружения ранее возведенных конструкций значительно сокращается. Для монолитных бетонных и железобетонных изделий это недопустимо, поскольку согласно СНиП 3.03.01–87 [2] при возведении несущих и ограждающих конструкций к моменту приложения к ним полной нагрузки должна быть обеспечена про-

However, there are still a lot of problems in this field.

Construction projects are usually designed for long stay in them, and their terms of service are calculated over decades, so they have increased requirements for durability, reliability and safety [1]. A large number of running processes and applied technologies, a wide range of used materials, products and structures dictate high qualification requirements for employees. From the point of view of occupational safety, the construction industry remains one of the most traumatic, that is, the reliability and safety of buildings and structures do not lose their relevance.

**General provisions of early loading of concrete structures.** The individuality of objects and the pursuit of design and building organizations to reduce the cost of construction have caused the increase in the proportion of monolithic concrete structures. Short construction time frames dictated by the customers require a high degree of intensification of production and strict working schedules.

Growth of quantity of construction of monolithic concrete structures and reinforced concrete structures, despite the technology advantages and the numerous studies in this field give the construction industry a number of problems. Improvement of technological processes and high level of mechanization give the possibility to intensify construction activities and to shorten construction period. However, in this case, the period of loading of previously built structures is significantly reduced. For monolithic concrete and reinforced concrete products it is unacceptable, as according to Construction Regulation Standards Building Code 3.03.01–87 [2] during the construction process the design concrete strength (100% strength in 28 days [3, 4]) should be provided to the moment of full load application to the

ектная прочность бетона (100% от прочности в 28 суточном возрасте [3, 4]). Таким образом, в ряде случаев сокращение сроков строительства невозможно.

Особую остроту эта проблема приобретает в холодное время года, поскольку при пониженных температурах скорость гидратации цемента значительно снижается. В исследованиях, представленных в работах [5–10], приведены методы и средства выполнения бетонных работ в зимний период. Отмечено, что при выполнении определенных требований, прочность бетона в 28 суточном возрасте при температуре твердения 5°C составляет не более 80% проектной, а при температуре 1°C — менее 70%. В этом случае, при полном нагружении бетонных конструкций, обеспечить соблюдение графиков производства работ с выполнением требований СНиП невозможно.

Поскольку в реальных условиях нагружение фундаментов происходит поэтапно (монтаж колонн, ферм, связей и кровельного покрытия), то имеется возможность раннего нагружения строительных конструкций при соответствующем обосновании.

С этой целью сотрудниками кафедры «Технология строительного производства» Южно-Уральского государственного университета кандидатом технических наук Юнусовым Н. В. и кандидатом технических наук Коваль С. Б. разработан регламент «Раннее нагружение строительных конструкций». Решения, приведенные в регламенте, позволяют определить требуемую прочность и продолжительность выдерживания бетона на отдельных этапах нагружения монолитных железобетонных конструкций, таких как фундаменты под колонны и технологическое оборудование, стены зданий, и т. п.

Сущность метода раннего нагружения заключается в том, что в качестве критерия, определяющего связь между процентом приложенной внешней нагрузки и требуемой к моменту нагружения прочности бетона, выступает коэффициент интенсивности нагружения.

bearing and enclosure structures. Thus, in some cases, reduction of construction period is impossible.

Especially acute this problem becomes in cold season, since at lower temperatures the rate of cement hydration is greatly reduced. In the studies provided in the papers [5-10], the methods and means of execution of concrete works in winter period are presented. It is noted that in the implementation of certain requirements when the hardening temperature is 5 ° C, the strength of concrete at 28 days is not more than 80% of the project, and at a temperature of 1 ° C — it is less than 70%. In this case, if we have the full loading of concrete structures, it is impossible to meet the requirements of Construction Regulation Standards Building Code and to comply with the schedules of works.

Since in real conditions the loading of foundations occurs in several stages (erection of columns, trusses, connections, and roofing), there is a possibility of early loading of building structures with appropriate justification.

To this end, the employees of the "Technology of construction" department of South Ural state University, PhD in Technical Sciences N. V. Yunusov and PhD in Technical Sciences S. B. Koval have developed the regulations "Early loading of building structures". The decisions that the regulations contain, will help to determine the strength and curing period of concrete at various stages of loading of monolithic reinforced concrete structures such as foundations under the columns and technological equipment, building walls, etc.

The essence of the early loading method is that the criterion that defines the relationship between the percentage of applied external load and the required concrete strength to the time of loading is the intensity of load coefficient.

Физический смысл коэффициента интенсивности загрузки заключается в определении величины внешней нагрузки, приложенной к бетону, не вызвавшей при последующем наборе прочности деструктивных процессов бетона, приведших к снижению интенсивности твердения или сбросу проектной прочности. Величина интенсивности загрузки не является постоянной величиной и зависит от прочности бетона к моменту приложения к нему внешней нагрузки.

В рамках программы стандартизации национального объединения строителей, направленной на реализацию Градостроительного кодекса Российской Федерации, Федеральных законов Российской Федерации, постановлений Правительства Российской Федерации и приказов Министерства регионального развития Российской Федерации, разработаны рекомендации «Конструкции монолитные бетонные и железобетонные. Технические требования к производству работ, правила и методы контроля» для выработки единых требований по производству и контролю качества бетонных работ в зимнее время.

**Современные методы и средства по уходу за бетоном в зимний период.** Анализируя накопленный к настоящему времени опыт в области производства и контроля качества бетонных работ, а также опыт зимнего бетонирования строительных организаций нашего региона, можно отметить, что несмотря на большой объем информации и подробное описание методов ухода за бетоном при низких температурах нештатные ситуации возникают довольно часто. Об этом свидетельствует, например, опыт строительства объектов, осуществляемых ООО «Ирдон».

Длительное время ООО «Ирдон» осуществляет строительство на территории Ростовской области каркасных промышленных объектов с металлическими рамами и монолитными бетонными фундаментами (рис. 1)

The physical meaning of the intensity of load coefficient is to determine the external load applied to concrete, which in the subsequent concrete strength development do not cause destructive processes of concrete, which lead to the decrease in the intensity of hardening or in the design strength. The value of intensity of loading is not constant and depends on the concrete strength to the moment of application to it external load.

To develop uniform requirements for the production and quality control of concrete works in winter time the recommendations "Monolithic concrete and reinforced concrete constructions. Technical requirements for the execution of works, the rules and methods of control" were developed in the framework of the standardization of national association of builders aimed at the implementation of the Russian Federation City Planning Code, Federal laws of the Russian Federation, resolutions of the Government of the Russian Federation and orders of the Ministry of regional development of the Russian Federation.

**Modern methods for curing of concrete in winter.** Having analyzed the gained so far experience in the field of production and quality control of concrete works, as well as the experience of winter concreting of building organizations of our region, it can be noted that despite the large amount of information and detailed descriptions of the methods for curing of concrete at low temperatures emergency situations arise quite often. The construction experience of "Irdon" can be such an example of this.

For a long period of time on the territory of the Rostov region "Irdon" provides construction of frame industrial units with metal frames and solid concrete foundations (Fig. 1).





Рис. 1. Объекты строительства ООО «Ирдон» /

Fig. 1. «Irdon» construction sites

Проектные решения основных конструктивных элементов унифицированы, что позволяет при эффективной организации труда в течение нескольких недель возводить объекты площадью до 3500 м<sup>2</sup>. Из-за больших объемов и напряженных графиков строительства работы ведутся круглый год, причем до минимума сокращаются интервалы времени до начала монтажа металлоконструкций на бетонные фундаменты, что требует обоснования возможности ведения монтажных работ.

Исследований, посвященных технологии бетонных работ и кинетике набора прочности бетоном в нормальных условиях, проведено множество [11–15]. Согласно этим исследованиям, нагружение фундаментов возможно только через 21–24 дня после начала работ.

В процессе строительства на каждой площадке возводилось более 700 практически одинаковых фундаментов под колонны и около 25000 м<sup>2</sup> полов из монолитного бетона. Анализируя технологическую последовательность возведения объектов, представленных на рис. 1, можно отметить, что при правильной организации работ и нормальных температурных условиях в летний период работа проводится

в штатном режиме. В условиях пониженных температур период, требующийся для набора необходимой прочности бетоном, может быть весьма продолжительным, поэтому

Design decisions of the main design elements are standardized, which with efficient organization of work makes it possible to build facilities with an area of up to 3500 m<sup>2</sup> in a few weeks. Because of the large volumes and tight construction schedules the work is conducted year-round, and the time prior to installation of steel structures on concrete foundations is reduced to the minimum, which require substantiation of possibility of assembly work performance.

There are a lot of studies on the technology of concrete works and the concrete strength development kinetics under normal conditions [11–15]. According to these studies, the loading of foundations is possible only 21–24 days after the work has started.

In the process of construction at each site were built more than 700 nearly identical foundations for columns and about 25000 m<sup>2</sup> of flooring of reinforced concrete. Having analyzing the technological sequence of construction presented in Fig. 1, it can be noted that with proper organization of work and normal temperature conditions in summer the work is carried out as it was planned.

At lower temperatures the period required to develop the required concrete strength can be very long, therefore there is a need of intensifi-

возникает необходимость интенсификации процессов твердения бетона.

Выбор эффективного метода поддержания температурного режима гидратации бетона достаточно сложен. Наиболее экономичным является метод термоса, характеризующийся тем, что бетон набирает прочность за счёт сохранения тепла, внесенного в бетонную смесь при приготовлении и выделяемого цементом при его твердении. Однако высокий модуль поверхности ограничивает применение этого метода температурами воздуха 7–10°C.

Одним из наиболее простых методов является конвективный обогрев, заключающийся в ускорении твердения бетона за счёт теплового потока, подаваемого в замкнутый объём (тепляки, тоннель и т. п.). Передача тепловой энергии осуществляется теплогенераторами к поверхности конструкций за счёт конвекции. Нагрев внутренних слоёв конструкций происходит за счёт теплопроводности бетона. Источниками тепловой энергии могут быть электрокалориферы, дизельные теплогенераторы прямого (непрямого) нагрева, газовые нагреватели и т. п. Анализ опыта применения этих устройств на нескольких объектах свидетельствует о неравномерном распределении температур внутри тепляков. Из-за большой площади или значительного расстояния между конструкциями фундаментов перепад температур может достигать 14°C. Это приводит к высушиванию поверхности конструкций и отслаиванию поверхностного слоя, а в местах, наиболее удаленных от теплогенераторов, — к замедлению набора прочности бетоном.

Использование беспламенных инфракрасных горелок ГИИ также не лишено недостатков. Даже при высоте их расположения над прогреваемой поверхностью пола, равной 3,5 м, перепад температур составляет 12°C. Поскольку при достижении бетоном определенной пластической прочности требовалась его шлифовка, то качественно выполнить эти работы при таком перепаде температуры не представлялось возможным. Кроме этого, из-за большой площади поверхности тепляков

cation of concrete hardening processes.

It is quite difficult to choose an effective method of maintaining the concrete hydration temperature conditions. The most economical is the thermos method, which is characterized by concrete gaining its strength at the expense of retention of the heat applied to the concrete mix during preparation and released by the cement during its hardening. However, a high surface module limits the application of this method to the temperature of 7–10°C.

One of the simplest methods is convective heating, which is the accelerating of concrete hardening due to the heat flow in a closed space (cold protecting enclosure, tunnel, etc.). The heat transfer to the surface structures by convection is performed by heat generators. Heating of the inner layers of the structures occurs due to the thermal conductivity of concrete. Sources of heat can be electric air heater, diesel generators of direct (indirect) heating, gas heaters, etc. The effectiveness analysis of these devices at several facilities indicates the uneven temperature distribution inside cold protecting enclosures. Due to the large square size or large distances between the foundations constructions temperature difference can reach 14 ° C. This leads to drying of the surface structures and the surface layer delamination and in the most remote from the heater places to slowing of concrete strength development.

The use of flameless infrared burners also has its disadvantages. Even if they are located above the warmed surface of the floor of 3.5 m, the temperature difference is 12 ° C. Due to the fact that once the concrete reached its particular plastic strength it needs polishing, it is impossible to perform this work properly in this temperature differences. In addition, due to the large surface area of cold protecting enclosures there is a significant heat loss and environmen-

имели место значительные потери тепла и загрязнения окружающей среды [17–18].

Применение ускорителей твердения и прогрева бетона тоже полностью не исключают проявления негативных последствий, так как необходимо учитывать целый ряд факторов: среднемесячную и минимальную температуру окружающего воздуха; температуру укладываемой бетонной смеси; тепловое сопротивление опалубки и ее площадь. Эти факторы существенно влияют на скорость структурообразования и требуют постоянной корректировки дозировки модификаторов. Кроме этого, в солнечные дни даже при отрицательной температуре происходит односторонний прогрев опалубки и развитие трещин (рис. 2). Немаловажное влияние на трещинообразование и несущую способность имеют геометрические параметры конструкций [19]

tal pollution [17-18].

The use of hardeners and concrete heating does not fully exclude the possibility of negative consequences because of the need to consider a number of factors: monthly average and minimum temperatures of the surrounding air; the temperature of the cast concrete, the thermal resistance of the formwork and its square. These factors significantly affect the rate of structure formation and require constant adjustment of the dosage of modifiers. In addition, on sunny days, even at subzero temperatures there occurs unilateral heating of formwork and the development of cracks (Fig. 2). The important effect on the cracking and bearing capacity has the geometrical parameters of the structures [19].



Рис. 2. Развитие трещин в фундаментах  
Fig. 2. Development of cracks in the foundation

Таким образом, способ подвода тепла, размеры и конфигурация конструкций, характеристики применяемого цемента, площадь контакта с внешней средой, теплофизические и физико-химические свойства бетона, а также характер их изменения при твердении, конструкция и тепловые характеристики материалов опалубки, изменения условий внешней среды значительно усложняют проектирование и контроль прочности бетона в течение зимнего периода.

Thus, the method of heat supplying, the size and configuration of structures, the characteristics of the used cement, the area of contact with the external environment, the thermo-physical and physical-chemical properties of concrete, and the nature of their changes during curing, the structure and thermal characteristics of materials, formwork, changes in environmental conditions greatly complicate the design and control of concrete strength during the winter period.



Поскольку интенсификация строительных процессов неразрывно связана с их безопасностью, то необходим контроль изменяющихся во времени характеристик бетона. В этой связи одной из наиболее значимых задач является необходимость мониторинга и прогнозирования свойств бетона при различных температурах твердения.

**Экспериментальные исследования кинетики гидратации бетона при низких температурах.** Обеспечить надлежащее качество бетонных работ можно только при организации оперативного контроля прочности бетона. Однако, несмотря на имеющийся широкий ассортимент приборов неразрушающего контроля прочности строительных материалов, получение результатов испытаний с высокой степенью достоверности при условиях твердения, отличных от нормальных и в произвольные сроки твердения, весьма проблематично из-за отсутствия в приборах зависимостей набора прочности для различных температур и сроков гидратации.

Использование графиков набора прочности модифицированных бетонов, представляемых производителями добавок, также невозможно, поскольку испытания выполнены на образцах с использованием ингредиентов высокого качества. На стройках же, как правило, применяются недорогие заполнители и цемент среднего, а иногда и низкого, качества. В этом случае разработка зависимостей для прогнозирования и контроля характеристик бетонов различных составов и классов по прочности приобретает очень важное значение.

Решению этой задачи посвящен большой объем лабораторных и натурных исследований кинетики структурообразования модифицированных составов, выполненный сотрудниками кафедры «Строительство и техно-сферная безопасность» ИСОиП ДГТУ (филиал ДГТУ в г. Шахты) в течение нескольких лет.

Лабораторные испытания проводились в термокамерах, позволяющих поддерживать температуру с точностью до 0,1°C. Регистрация текущих значений температуры в образ-

Since the intensification of the construction processes is inextricably linked to their safety, the time-varying characteristics of the concrete must be controlled. In this regard, one of the most important tasks is the need for monitoring and prediction of concrete properties at different temperatures of hardening.

**Experimental study of concrete hydration kinetics at low temperatures.** It is possible to ensure proper quality of concrete work only having the organization of operational control of concrete strength. However, despite a wide range of non-destructive testing of building materials durability, the obtaining of test results with a high degree of accuracy in hardening conditions different from normal and at any time of hardening is very problematic due to the lack of the dependencies of strength development for various temperatures and hydration periods in devices.

The use of graphics of strength modified concrete development provided by the additives manufacturer is also impossible, since the tests were performed on the samples using high quality ingredients. On construction sites, as a rule, cheap fillers and cement of medium, and sometimes of low quality are used. In this case, the development of dependencies to predict and control the characteristics of concretes of different compositions and strength classes becomes very important.

For several years the members of the "Construction and technosphere safety" department of The Institute of service sector and entrepreneurship of Don State Technical University (Shakhty branch) have been devoting their time to performing a large number of laboratory and field investigations of the structure formation kinetics of modified compositions.

Laboratory tests were carried out in the heat chamber that keeps the temperature accurate to 0.1°. Registering of the in question values of the samples temperature was carried out on the



цах велась специально разработанным измерительным комплексом, обеспечивающим сбор, хранение и визуализацию результатов измерений. Данный комплекс позволял фиксировать температуру в течение длительного времени и представлять ее в виде термограммы с указанием средней температуры за исследуемый период (рис. 3).

При проведении лабораторных исследований и на строительных площадках для приготовления бетонов классов В 7,5–В 25 с удобукладываемостью П4 применялись реально используемые строительными организациями песок, щебень и цемент.

сpecially designed measuring system for the collection, storage and visualization of measurement results. This complex made it possible to record the temperature during a long time and to present it in the form of thermograms, indicating the average temperature during the study period (Fig. 3).

During the laboratory investigations and at construction sites the authors took sand, gravel and cement used by construction organizations in real life for making concrete of B 7.5–B 25 classes with P4 workability.

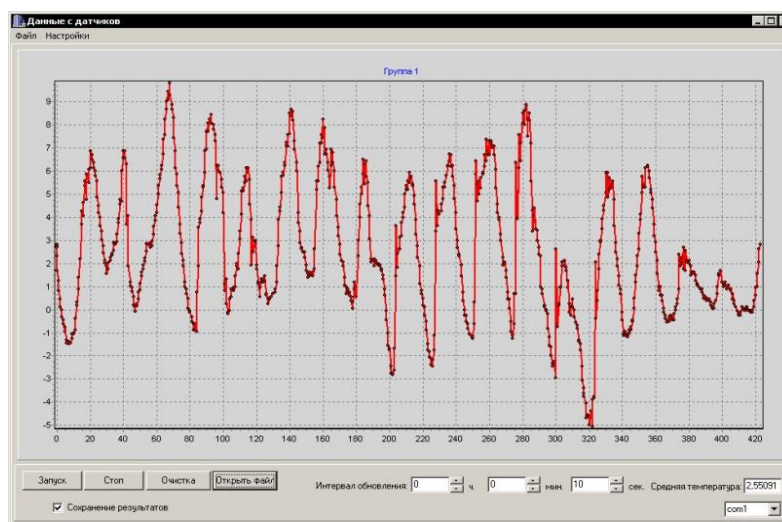


Рис. 3. Термограмма наружного воздуха

Fig. 3. The thermogram of the outside air

В качестве модификаторов после предварительных исследований были выбраны универсальные добавки «Д-5» и «Д-11» (ООО НПП «Ирстройпрогресс»), УП-5 (ООО Росхимпром), «Реламикс-М» и «Криопласт-СП-2» (ОАО Полипласт), которые обеспечивали максимальную эффективность при минимальных затратах в составах с заполнителями низкого качества. Определение прочности образцов в установленные сроки проводилось в соответствии с ГОСТ 10180–90. По результатам испытаний составлены уравнения, описывающие кинетику набора прочности обычных и модифицированных бетонов, которые позволяют прогнозировать проч-

As the modifiers after preliminary studies the authors have chosen universal additives "D-5" and "D-11" ("Irstroyprogress"), UP-5 (Roskhimprom), "Relamix-M" and "Krioplast-SP-2" (Poliplast), which provided maximum efficiency at minimum cost in compounds with low quality fillers. Determination of strength of samples within the established deadlines was carried out in accordance with GOST 10180-90. According to test results the authors have produced the equations describing the kinetics of strength development of conventional and modified concrete in order to predict the concrete strength in the required time.

ность бетона в требуемые сроки.

Наиболее доступной и эффективной для условий Ростовской области признана добавка УП-5. На рис. 4 приведены графики набора прочности бетоном класса В 22,5, модифицированного добавкой УП-5 в количестве 2% от массы цемента, при различных температурах.

По результатам обработки полученных экспериментальных данных с помощью программного модуля *Statistica 6* было получено уравнение множественной регрессии, позволяющее определять требуемую прочность бетона  $R_6$  для начала монтажа металлоконструкций при различных температурах твердения ( $t$ , °C):

$$R_6 = -2,65 + 0,42 t + 7,92 \ln T,$$

где  $T$  — время твердения (возраст) образца, сут.

UP-5 proved to be the most affordable and effective for the conditions of the Rostov region. Fig. 4 shows graphs of concrete strength development of B 22.5 class modified by UE-5 additive in the amount of 2% of cement weight at different temperatures.

Subsequent to the results of processing of experimental data using the software module *Statistica 6* the authors obtained the multiple regression equation that makes it possible to determine the required strength of the concrete  $R_6$  to begin steel erection at various temperatures of curing ( $t$ , °C):

$$R_6 = -2,65 + 0,42 t + 7,92 \ln T$$

where  $T$  is the time of curing (age) of the sample in days.

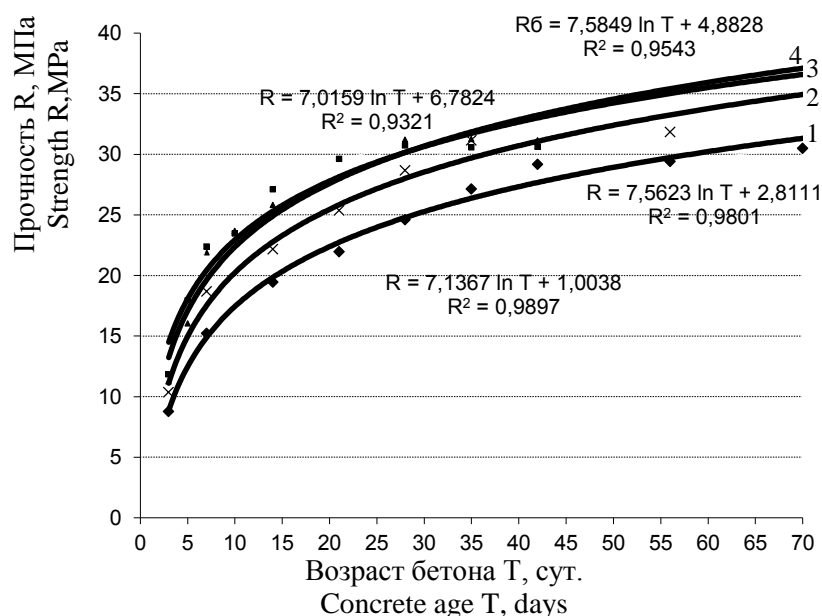


Рис. 4. Динамика набора прочности бетона, модифицированного добавкой УП 5 при различных температурах: 1 — 5 °C; 2 — 10 °C; 3 — 15 °C; 4 — 20 °C

Fig. 4. Dynamics of strength development of concrete modified with UP 5 additive at different temperatures: 1 — 5 °C;

По полученному уравнению произведены расчеты прогнозируемой прочности бетона для соответствующих лабораторным исследованиям значений температур и времени твердения для трех строящихся объектов на предмет разрешения монтажа каркасов зда-

According to the obtained equation the authors have carried out calculations of the predicted concrete strength for the corresponding laboratory values of the temperature and time of hardening for the three projects under construction and for

ний. Исследования прочности конструкций неразрушающими методами непосредственно на строительных площадках позволили построить реальные графики (представлены пунктирными линиями на рис. 5) набора прочности бетоном и скорректировать эталонные зависимости для приборов ИПС МГ4+ и ПОС-50МГ-О (рис. 5), повысив таким образом достоверность измерений.

permission of installation of building frames. Studies of the structures strength by nondestructive methods directly on construction sites allowed to build real graphics (represented by the dotted lines in Fig. 5) of concrete strength development and to adjust the model dependencies for IPS MG4+, and POS-50MG-O devices (Fig. 5), thus increasing the accuracy of measurements.

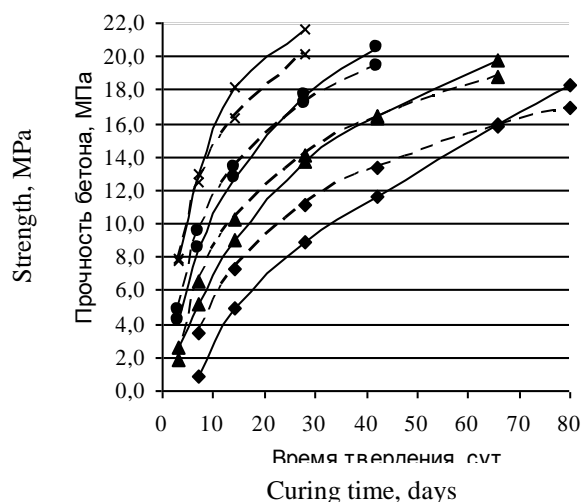


Рис. 5. Кинетика твердения бетона при пониженных температурах  
Fig. 5. Concrete curing kinetics at low temperatures

**Заключение.** Разработанные на основе проведенных исследований рекомендации позволили строительным организациям на четырех площадках выполнять раннее нагружение конструкций на монолитные фундаменты в зимний период без их повреждений.

**Conclusion.** The developed on the basis of the conducted research recommendations have made it possible for construction companies at four sites to perform early loading of structures on solid foundations in winter without their damage.

#### Библиографический список

1. Федеральный закон № 384 от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Электронный ресурс] / ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии // Электрон. фонд пра-

#### References

1. Federal'nyy zakon № 384 ot 30.12.2009 "Tekhnicheskiy reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy". [Federal law "Technical regulations on safety of buildings and structures] «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut metrologicheskoy sluzhby», Federal'noe agenstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii, Elektron. Fond pravovoy i normativ.-tekhn. dokumentatsii, Konsortsium «Kodeks». [All-Russian research Institute of metro-

вовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (дата обращения : 15.11.16).

2. Несущие и ограждающие конструкции : СНиП 3.03.01–87 [Электронный ресурс] / Строительные нормы и правила РФ. — Режим доступа : <http://sniprf.ru/razdel-3/3-03-01-87> (дата обращения : 19.11.16).

3. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07–85\* [Электронный ресурс] / Строительные нормы и правила РФ. — Режим доступа : <http://sniprf.ru/razdel-2/03> (дата обращения : 19.11.16).

4. Бетонные и железобетонные конструкции : СНиП 2.03.01.-84\* [Электронный ресурс] / Строительные нормы и правила РФ. — Режим доступа : <http://sniprf.ru/razdel-2/03> (дата обращения : 19.11.16).

5. Евдокимов, В. А. Технология строительного производства в зимних условиях: учебное пособие для строительных специальностей вузов / В. А. Евдокимов. — Ленинград : Стройиздат, 1984. — 264 с.

6. Хаютин, Ю. Г. Монолитный бетон. Технология производства работ / Ю. Г. Хаютин. — Москва : Стройиздат, 1991. — 576 с.

7. Головнев, С. Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С. Г. Головнев. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1999. — 156 с.

8. Временная инструкция по производству бетонных работ в зимних условиях на объектах Главюжуралстроя. — Челябинск : Главюжуралстрой, 1985. — 115 с.

logical service, Federal Agency for technical regulation and metrology, Electron. Fund of legal and norm.-tech. documentation, Consortium "Kodeks".] Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902192610> (accessed: 15.11.16) (in Russian).

2. Nesushchie i ogradhayushchie konstruksii: SNiP 3.03.01–87 [Bearing and enclosing structures: SNiP 3.03.01–87] Stroitel'nye normy i pravila RF. Available at: <http://sniprf.ru/razdel-3/3-03-01-87> (accessed: 19.11.16) (in Russian).

3. Nagruzki i vozdeystviya: SNiP 2.01.07–85\*. [Loads and impacts: SNiP 2.01.07–85\*] Stroitel'nye normy i pravila RF. Available at: <http://sniprf.ru/razdel-2/03> (accessed: 19.11.16) (in Russian).

4. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii: SNiP 2.03.01.-84\*. [Concrete and reinforced concrete structures: SNiP 2.03.01.-84\*] Stroitel'nye normy i pravila RF. Available at: <http://sniprf.ru/razdel-2/03> (accessed: 19.11.16) (in Russian).

5. Evdokimov V.A. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva v zimnikh usloviyakh: uchebnoe posobie dlya stroitel'nykh spetsial'nostey vuzov. [Technology of construction in winter conditions: textbook for construction specialties of higher educational institutions.] Leningrad: Stroyizdat, 1984, 264 p. (in Russian).

6. Khayutin J.G. Monolitnyy beton. Tekhnologiya proizvodstva rabot. [Mass concrete. Job practices.] Moscow: Stroyizdat, 1991, 576 p. (in Russian).

7. Golovnev S.G. Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Oprimizatsiya parametrov i vybor metodov. [Technology of cold weather concreting. Optimization of parameters and selection of methods.] Chelyabinsk: Izdatel'stvo YUYrGU, 1999, 156 p. (in Russian).

8. Vremennaya instruktsiya po proizvodstvu betonnykh rabot v zimnikh usloviyakh na ob'ektakh Glavyuzhuralstroya. [Interim instructions for the cold weather concreting on Glavyuzhuralstroy objects.] Chelyabinsk: Glavyuzhuralstroy, 1985, 115 p. (in Russian).



9. Масленников, С. А. Оценка влияния температуры на скорость набора прочности бетоном / С. А. Масленников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2010. — № 9. — С. 309–312.
10. Масленников, С. А. К вопросу о регулировании деформационных свойств бетона / С. А. Масленников, К. Н. Мирошниченко, К. С. Яковлева // Научно-технические проблемы строительства и техносферной безопасности : сб. науч. трудов. — Шахты, 2015. — С. 54–59.
11. Никоноров, С. В. Технология раннего нагружения монолитных плит перекрытия при использовании балочно-стоечной опалубки / С. В. Никоноров, О. А. Тарасова // Инженерно-строительный журнал. — 2010. — № 4. — С. 17–20.
12. Технология строительного производства / Л. Д. Акимова [и др.]; под ред. Г. М. Бадина, А. В. Мещанинова. — Ленинград : Стройиздат, 1987. — 606 с.
13. Соколов, Г. К. Технология строительного производства / Г. К. Соколов. — Москва : Академия, 2007. — 544 с.
14. Белецкий, Б. Ф. Технология строительного производства / Б. Ф. Белецкий. — Москва : Изд-во АСВ, 2001. — 416 с.
15. Технология строительных процессов / А. А. Афанасьев [и др.]; под ред. Н. Н. Данилова, О. М. Терентьева. — Москва : Высшая школа, 2001. — 464 с.
16. Сборщикова, М. Н. Мировая практика строительства монолитных зданий / М. Н. Сборщикова, В. С. Гребеньчиков // Бюллетень иностранной научно-технической информации. — 2007. — № 5. — С. 30–33.
9. Maslennikov S.A. Otsenka vliyaniya temperatury na skorost' nabora prochnosti betonom. [Temperature effect assessment on concrete strength development rate.] Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten', 2010, no. 9, pp. 309-312. (in Russian).
10. Maslennikov S.A., Miroshnichenko K.N., Yakovleva K.S. K voprosu o regulirovanii deformatsionnykh svoystv betona [On regulation of concrete deformation properties.] Nauchno-tekhnicheskie problemy stroitel'stva i tekhnosfernoy bezopasnosti: sb. nauch.trudov. [Scientific and technical problems of construction and technosphere safety: coll. of sci. works] Shakhty, 2015, pp. 54-59. (in Russian).
11. Nikonorov S.V., Tarasova O.A Tekhnologiya rannego nagruzheniya monolitnykh plit perekrytiya pri ispol'zovanii balochno-strochnoy opalubki. [Technology of monolithic slabs early loading using beam-column formwork.] Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2010, no. 4, pp. 17-20 (in Russian).
12. Akimova L.D. et al. ed. by Badina G.M., Meshchaninova A.V. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva. [Construction technology.] Leningrad: Stroyizdat, 1987, 606 p. (in Russian).
13. Sokolov G.K., Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva. [Construction technology.] Moscow: Academy, 2007, 544 p. (in Russian).
14. Beletsky B.F. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva. [Construction technology.] Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2001, 416 p. (in Russian).
15. Afanasev A.A. et al. ed. by Danilova N.N., Terenteva O.M. Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov. [Technology of construction processes.] Moscow: Vysshaya shkola, 2001, 464 p. (in Russian).
16. Sborshchikova M.N. Grebenshchikov V.S. Mirovaya praktika stroitel'stva monolitnykh zdaniy. [The world practice of monolithic buildings construction.] Bylleten' inostrannoy nauchno-tekhnicheskoy informatsii, 2007, no. 5, pp. 30-33 (in Russian).
17. Zanina, I.A., Iliev A.G. Metodika opredele-

17. Занина, И. А. Методика определения целесообразности использования топливно-энергетических ресурсов при использовании энергосберегающих технологий / И. А. Занина, А. Г. Илиев // Развитие науки и образования в современном мире : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. — Москва : АР-Консалт, 2015. — Ч. III. — С. 31–36.

18. Чернышенко, О. В. Воздействие стационарных и передвижных источников на окружающую среду [Электронный ресурс] / Концепт. — Режим доступа : <http://e-koncept.ru/2016/96141.htm> (дата обращения: 06.04.2016).

19. Плешко, М. С. Геометрические неоднородности монолитной бетонной крепи шахтных стволов и их влияние на устойчивость выработки / М. С. Плешко, А. А. Насонов, О. В. Пашкова // Горный журнал. — 2015. — № 3. — С. 33–36.

niya tselesoobraznosti ispol'zovaniya toplivno-energeticheskikh resursov pri ispol'zovanii energosberegayushchikh tekhnologiy. [Fuel and energy resources practicability determining method using energy-efficient technology.] Razvitie nauki i obrazovaniya v sovremennom mire: sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. nauch.-praktich. konf. [Science and education development in the modern world: Proceedings of international sci.-pract. conf.] Moscow: ART-Konsalt, 2015, part III, pp. 31-36 (in Russian).

18. Chernyshenko O. V., Vozdeystvie statsionarnykh i peredvizhnykh istochnikov na okruzhayushchuyu sredu. [Influence of stationary and mobile sources on the environment.] Kontsept. Available at: <http://e-koncept.ru/2016/96141.htm> (accessed: 06.04.2016) (in Russian).

19. Pleshko M.S., Nasonov A.A., Pashkova O.V. Geometricheskie neodnorodnosti monolitnoy betonnoy krepki shakhtnykh stvolov i ikh vliyanie na ustoychivost' vyrabotki. [Geometrical heterogeneity of the monolithic concrete walling of mine shafts and its impact on working sustainability.] Gornyy zhurnal, 2015, no. 3, pp. 33-36 (in Russian).

Поступила в редакцию 15.11.2016

Сдана в редакцию 15.11.2016

Запланирована в номер 15.12.2016

Received 15.11.2016

Submitted 15.11.2016

Scheduled in the issue 15.12.2016

*Дмитриенко Владимир Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко, 147) [vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)*

*Vladimir Aleksandrovich Dmitrienko, Candidate of technical science, Associate Professor, Construction and technosphere safety Department, Institute of service sector and entrepreneurship (branch), Don State Technical University (Shevchenko st., 147, Shakh-ty, Russian Federation) [vadmitrienko@rambler.ru](mailto:vadmitrienko@rambler.ru)*

*Кокунько Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы*

*Irina Nikolaevna Kokunko, Associate Professor, Construction and technosphere safety Department, Institute of service sector and entrepreneurship (branch),*



обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), [kokynek@rambler.ru](mailto:kokynek@rambler.ru)

Дюба Элеонора Андреевна, магистрант кафедры «Строительство и техносферная безопасность» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), [keda4kaaa@mail.ru](mailto:keda4kaaa@mail.ru)

Евсенкова Анастасия Константиновна, Студентка факультета «Техника и технологии» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета (ДГТУ) (РФ, г. Шахты, ул. Шевченко, 147), [nasta\\_e\\_97@mail.ru](mailto:nasta_e_97@mail.ru)

Don State Technical University (Shevchenko st., 147, Shakhty, Russian Federation)  
[kokynek@rambler.ru](mailto:kokynek@rambler.ru)

Eleonora Andreevna Dyuba,  
Graduate student, Construction and technosphere safety Department, Institute of service sector and entrepreneurship (branch), Don State Technical University (Shevchenko st., 147, Shakhty, Russian Federation)  
[keda4kaaa@mail.ru](mailto:keda4kaaa@mail.ru)

Anastasiya Konstantinovna Evsenkova,  
Student, Faculty of engineering and technology, Institute of service sector and entrepreneurship (branch), Don State Technical University (Shevchenko st., 147, Shakhty, Russian Federation)  
[nasta\\_e\\_97@mail.ru](mailto:nasta_e_97@mail.ru)